

занного ряда распределителей. Отличия будут заключаться в геометрических размерах, то есть значениях x, d, D, r .

Библиографический список:

1. Гидрораспределители золотниковые типа 1Р203, 1З322, 1Р323 Руководство по эксплуатации 1Р203, Ульяновское акционерное общество «Гидроаппарат»;
2. Башта Т. М., Расчеты и конструирование самолетных гидравлических устройств, Оборонгиз, 1961
3. Гамынин Н. С., Основы следящего гидравлического привода, Оборонгиз, 1961, с.106

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ЗДАНИЯ В НЕРАБОЧЕЕ ВРЕМЯ

Е.Ю. АНИСИМОВА

ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»

Проблема энергосбережения в России является одной из острых и приобрела статус приоритетной задачи государственной энергетической политики на ближайшие минимум 10 лет. Это обусловлено как расточительным расходованием энергоресурсов, так и постоянным ростом их стоимости. Ввиду этого современные требования к проектированию систем отопления направлены на повышение эффективности их функционирования, обязательную разработку и внедрение систем автоматического управления ими с привлечением для решения задач идентификации и управления процессами теплопотребления новейших результатов теоретических и прикладных исследований.

В данной области исследования можно выделить широкий круг вопросов, требующих решений. Например, до конца не изучены и не разработаны эффективные способы экономии тепловой энергии, затрачиваемой на отопление жилых, общественных, административно-бытовых и производственных зданий, в частности, в нерабочее время. Зачастую, известные в литературе модели и алгоритмы управления тепловыми режимами зданий получены, в основном, путем использования ряда серьезных упрощений, вследствие этого они недостаточно точны и имеют ограниченную область применения, или же, напротив, модели имеют настолько сложную структуру, что становятся практически неприемлемыми для целей регулирования. В связи с этим, крайне необходимо выполнить решение задач синтеза уточненных структур (с детальным учетом физики процессов) и настройки моделей на «реальный процесс» с последующей разработкой оптимальных алгоритмов управления микроклиматом здания.

Согласно СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция, кондиционирование» в вышеперечисленных видах зданий в нерабочее время температуру внутреннего воздуха можно поддерживать на более низком уровне, чем в остальные промежутки времени. Это дает возможность снизить расход энергии на отопление. Для большинства общественных, учебных, офисных, административно-бытовых и некоторых производственных зданий и т.д. этот промежуток времени может составлять в среднем до 40 % в будние дни и до 100 % в выходные и праздничные. Для жилых зданий, чаще всего, индивидуальной застройки или многоквартирных домов с поквартирными системами отопления, нерабочее время может интерпретироваться, как время, когда в здании, квартире, не проживают, а также ночное время, когда снижение температуры внутреннего воздуха (до 17°C – по медицинским исследованиям) позволяет не только снизить расход тепловой энергии, но и сделать сон и отдых человека более качественными.

Однако для получения максимального эффекта от реализации такого, так называемого, режима прерывистого отопления необходимо решить задачу об оптимальном управлении этим режимом.

Проведенный анализ литературы показал, что математическое описание теплового режима здания может быть удовлетворительно представлено следующим образом:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad (1)$$

$$t(x, 0) = t^0(x), \quad 0 \leq x \leq L; \quad (2)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_B [t_B(\tau) - t(0, \tau)], \quad \tau > 0; \quad (3)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(L, \tau)}{\partial x} = \alpha_H [t(L, \tau) - t_H(\tau)], \quad \tau > 0; \quad (4)$$

$$c_B m_B \frac{dt_B(\tau)}{d\tau} = u(\tau) - \alpha_B F_{\text{ст}} [t_B(\tau) - t(0, \tau)] - k_{\text{ок}} F_{\text{ок}} [t_B(\tau) - t_H(\tau)], \quad \tau > 0; \quad (5)$$

$$t_B(0) = t_B^0; \quad (6)$$

где $t(x, \tau)$ – температура в точке с координатой x по толщине наружной стены здания в момент времени τ , $t(0, \tau)$ – температура на внутренней поверхности наружной стены в момент времени τ , $t(L, \tau)$ – температура на наружной поверхности наружной стены, координата L , в момент времени τ , λ – коэффициент теплопроводности материала наружной стены, α_B , α_H – коэффициент теплоотдачи соответственно для внутренней и наружной поверхностей стены, $t_B(0)$, $t_B(\tau)$ – температура внутреннего воздуха в начальный момент времени и момент времени τ соответственно, $t_H(\tau)$ – температура наружного воздуха в момент времени τ , $u(\tau)$ – управление, в данном случае мощность системы отопления в момент времени τ , c_B – удельная теплоемкость внутреннего воздуха в здании, m_B – масса внутреннего воздуха в здании, a – коэффициент температуропроводности, $F_{\text{ст}}$, $F_{\text{ок}}$ – соответственно площадь наружных стен здания и площадь окон, $k_{\text{ок}}$ – коэффициент теплопередачи окна.

На множестве допустимых решений был определен функционал I , первая составляющая которого определяет близость начальной и конечной температуры внутреннего воздуха, а вторая – расход тепловой энергии.

$$I = [t_B(\tau k) - t_B^0]^2 + \int_0^{\tau k} G[u(\tau)] d\tau; \quad (7)$$

где τk – заданный промежуток времени, G – функция, оценивающая текущий расход теплоты зданием на отопление, β – весовой коэффициент.

В теории оптимального управления системами с распределенными параметрами, согласно проведенному анализу литературы, нет достаточно общей формулировки принципа максимума, позволяющей решать все возможные постановки задач. Поэтому в работе отыскивались условия оптимальности управления для поставленной задачи. Условия оптимальности представлены следующими соотношениями:

для формулировки условий оптимальности вводится функция

$$H = \psi_0(\tau) u(\tau) - \beta G[u(\tau)]; \quad (8)$$

где $\psi_0(\tau)$ удовлетворяет следующей системе уравнений:

$$-c_B m_B \frac{d\psi_0(\tau)}{d\tau} + (\alpha_B F_{\text{ст}} + k_{\text{ок}} F_{\text{ок}}) \psi_0(\tau) - \frac{a \alpha_B}{\lambda \psi(0, \tau)} = 0; \quad (9)$$

$$\frac{\partial \psi(x, \tau)}{\partial \tau} + a \frac{\partial^2 \psi(x, \tau)}{\partial x^2} = 0; \quad (10)$$

с начальными условиями:

$$c_B m_B \psi_0(\tau k) = -2[t_B(\tau k) - t_B^0]; \quad (11)$$

$$\psi(x, \tau k) = 0; \quad (12)$$

Граничные условия для функции $\psi(x, \tau) = 0$ задавались в виде

$$a \times \frac{\alpha_B}{\lambda} \psi(0, \tau) - a \times \frac{\partial \psi(0, \tau)}{\partial x} - \alpha_B F_{\text{ст}} \times \psi_0(\tau) = 0; \quad (13)$$

$$-\lambda \times \frac{\partial \psi(L, \tau)}{\partial x} = \alpha_H \psi(L, \tau); \quad (14)$$

Доказано утверждение, что если допустимое управление $u(\tau)$ доставляет минимум критерию (7), то оно должно максимизировать функцию H , определенную соотношениями (8) – (14), т.е.

$$u^*(\tau) = \arg \left\{ \sup H W_0^{\min} \leq u(\tau) \leq W_0^{\max} \right\}; \quad (15)$$

Управление $u^*(\tau)$, дающее решение поставленной задачи, будем называть оптимальным.

Аналитически решить данную задачу ввиду ее сложности не представлялось возможным. Вместе с тем, большим достоинством доказанного утверждения является то, что оно позволяет во многих случаях оценить структуру оптимального управления, его общий вид, не решая самой оптимальной задачи. Например, в линейных оптимальных задачах, т.е. в задачах, уравнения которых содержат управление в первой степени, оптимальное управление представляется кусочно-постоянной функцией, принимающей поочередно значения W_0^{\min} и W_0^{\max} , т.е. она будет представлять такую функцию

$$u^*(\tau) = \frac{W_0^{\min} + W_0^{\max}}{2} + \frac{W_0^{\min} - W_0^{\max}}{2} \times \text{sign}[\psi_0(\tau) - \beta]; \quad (16)$$

где W_0^{\min} – минимально возможная мощность системы отопления, W_0^{\max} – установленная (максимально возможная) мощность системы отопления здания.

Дальше, учитывая полученные результаты и практические соображения, полагали, что приближенно-оптимальное управление имеет два интервала постоянства. В связи с этим оценивалась эффективность следующих алгоритмов управления:

1 режим: в течение первого периода времени мощность системы отопления равна максимальному (установленному) значению, а во второй период – минимальному, причем длительность периодов отыскивалась моделированием процесса;

2 режим: в течение первого периода времени мощность системы отопления равна минимальному значению, а во второй период – максимальному, а длительность периодов отыскивалась также моделированием процесса, при этом условия задачи таковы, что ограничение по температуре внутреннего воздуха не нарушается, то есть внутренняя температура не опускается ниже 12°C.

Для решения этой задачи была разработано программное обеспечение в среде MatLab [1], на основе конечно-разностной аппроксимации математической модели теплового режима здания как системы с распределенными параметрами. Разработанная программа позволяет для любого здания отыскать алгоритм оптимального управления тепловым режимом в нерабочее время, который обеспечит существенную экономию тепловой энергии. Также найденные с помощью программы результаты могут использоваться для прогнозирования, контроля и управления параметрами микроклимата зданий при нормальных условиях работы, а также при авариях на источниках теплоты и (или) теплотрассах, когда прекращается подача тепла в здание.

Данная программа реализует алгоритмы получения различных режимов управления мощностью системы отопления в нерабочий период для конкретного здания для целей проведения качественного и количественного сравнения их. В общем, в программе рассчитываются 5 различных тепловых режимов, которые наиболее распространены в настоящее время или применение которых даст существенную экономию теплоты.

Для проведения вычислений по определению оптимальных режимов отопления необходимо задать следующие исходные данные: теплотехнические параметры здания, параметры внутреннего воздуха, минимально допустимую температуру внутреннего воздуха (рекомендуется принимать 12°C), толщину наружного ограждения, продолжительность нерабочего периода, параметры наружного воздуха, располагаемую мощность системы отопления. Программа имеет доступные разъяснения, которые помогают внести все необходимые сведения для расчетов.

В результате расчетов формируются следующие графики для каждого режима: изменение внутренней температуры воздуха в здании, температуры внутренней поверхности наружной стены и тепловой мощности системы отопления во времени в нерабочий период, кроме того показывается значение расхода тепловой энергии, затраченный при данном режиме управления.

На данную программу получено свидетельство об отраслевой регистрации разработки, зарегистрированное в Отраслевом фонде алгоритмов и программ (ОФАП) [1].

В результате численного моделирования было получено, что расход теплоты во 2 режиме прерывистого отопления существенно ниже, чем в первом, что подтверждает ранее полученный вывод об оптимальности режима прерывистого отопления на основе инженерной модели теплового режима здания [2, 3].

3 режим аналогичен 2 режиму, только дополнительно внутренняя температура воздуха выходит на свою границу 12°C. Вообще, вопрос о том выйдет ли система на ограничение по внутренней температуре зависит от длительности режима прерывистого отопления, теплотехнических свойств наружных ограждающих конструкций, а также от установленной мощности системы отопления здания.

4 режим, когда температура внутри помещения поддерживается стабилизирующим регулятором на своем заданном значении, и им же определяется мощность системы отопления.

5 режим, когда здание подключено к тепловым сетям и производится центральное регулирование отпуска теплоты на источнике, т.е. мощность, необходимая для разогрева здания, является функцией температуры наружного воздуха. Этот режим является наиболее распространенным в настоящее время.

В результате расчетов и сравнения было установлено, что экономичным является режим, когда интенсивный разогрев здания осуществляется только на конечном участке нерабочего времени (режимы 2 и 3). Неэкономичным, оказался наиболее распространенный в настоящее время режим, когда здание подключено к центральным тепловым сетям и осуществляется регулирование отпуска теплоты только на источнике. Расход тепловой энергии и величина экономии для рассмотренных режимов приведены в таблице.

Таблица

Расход и экономия тепловой энергии при различных алгоритмах управления тепловой мощностью системы отопления

Параметр	Название режима управления теплоснабжением здания			
	Оптимальный режим прерывистого отопления с выходом на ограничение по $t_{в}$	Оптимальный режим прерывистого отопления	Режим со стабилизирующим регулятором $t_{в}$	Режим при подключении здания к центральным тепловым сетям
Расход тепловой энергии, Вт·ч	20289,6	31159,2	43597,1	45060
Экономия, %	55	30,8	3,2	0

Кроме того, было установлено, что применение режима прерывистого отопления в зданиях, подключенных к центральным тепловым сетям, не дает существенной экономии тепловой энергии, так как нет резерва тепловой мощности для разогрева помещения, вся теплота, поступившая от тепловых сетей, расходуется на компенсацию текущих теплопотерь. Поэтому оптимальный режим прерывистого отопления рекомендуется осуществлять в зданиях имеющих автономный источник теплоты.

Выводы:

- для модели объекта с распределенными параметрами определены условия оптимальности, сформулированные в форме принципа максимума, установлен общий вид оптимального управления;
- разработано программное обеспечение в среде MatLab, позволяющее для любого объекта и различных условий смоделировать различные режимы управления мощностью системы отопления в нерабочий период с целью их качественного и количественного анализа;
- подтверждена эффективность управления, найденного ранее на основе инженерной модели, установлено, что интенсивный натоп здания на конечном участке нерабочего времени экономит до 30-55% теплоты;
- доказана неэкономичность распространенного в настоящее время режима, когда здание подключено к центральным тепловым сетям,
- установлено, что применение режима прерывистого отопления в зданиях, подключенных к центральным тепловым сетям, нецелесообразно.

Библиографический список

1. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки зарегистрированное в Отраслевом фонде алгоритмов и программ (ОФАП). Программа для расчета оптимальных режимов прерывистого отопления зданий / Е.Ю. Анисимова. – № 50200800068 от 18.01.2008 г.
2. Панферов, В.И. Об оптимальном управлении тепловым режимом зданий / В.И. Панферов, Е.Ю. Анисимова, А.Н. Нагорная // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2007. – Вып. 8. – № 20 (92). – С. 3-9.
3. Панферов, В.И. Энергоэффективное управление тепловым режимом зданий / В.И. Панферов, Е.Ю. Анисимова // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: Труды Всероссийской науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов 13-15 ноября. Тольятти: ТГУ. – 2007. – С. 102-103.

АЛГОРИТМ РАСЧЁТА АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТАНОВОК.

студ. Н.М. АНОШИН, А.С. НОСКОВ

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

А.В. ЛОВЦОВ

ООО «КБ «ЧКЗ-ЮГСОН».

В настоящее время теплообменные аппараты имеют высокое распространение для технологических нужд. Они имеют различные типы и предназначены для тех задач, для которых они разработаны. Для передвижных установок, где при высокой эффективности процесса необходимы компактность и малая масса, применяют теплообменные аппараты воздушного охлаждения.

Целью проведённой работы было нахождение эффективных геометрических характеристик оребрения теплообменного аппарата воздушного охлаждения, который использовался в мобильной установке по перекачке газа, для уменьшения потерь в теплообменном аппарате, уменьшении мощности, требуемой для продувки данного аппарата, а также для уменьшения их веса и габаритов, что немаловажно в мобильных установках.

Разработан алгоритм для расчёта теплообменного аппарата воздушного охлаждения с определённым типом оребрения – с накатными рёбрами, где одной из переменных была взята температура воздуха после прохождения теплообменного аппарата. Эта температура позволяет не только рассчитать среднюю температуру для расчёта теплообменного аппарата, но так же она прямым образом влияет на количество воздуха, требуемое для продувки через теплообменный аппарат, что влияет на сопротивление теплообменного аппарата и требуемую мощность вентилятора для его продувки.

Для данного теплообменного аппарата требовался расчёт геометрических характеристик оребрённой трубы.

Расчётные формулы и исходные данные:

Задаются

Геометрические параметры зоны теплообмена (высота ($Vis_{то}$), ширина ($Sh_{то}$), длина ($DI_{то}$)), температуры охлаждаемого газа (T_{11} , T_{12}) и наружная температура воздуха (T_{21}), температура воздуха после прохождения через теплообменник (T_{22}), тепловая мощность теплообменного аппарата ($Nt_{то}$), теплопроводность алюминия ($\lambda_{ал}$), скорости воздуха ($W_{возд}$) (задаётся для первой ите-

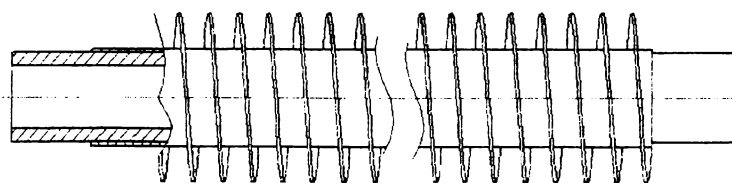


Рис. 1. Оребрённая труба

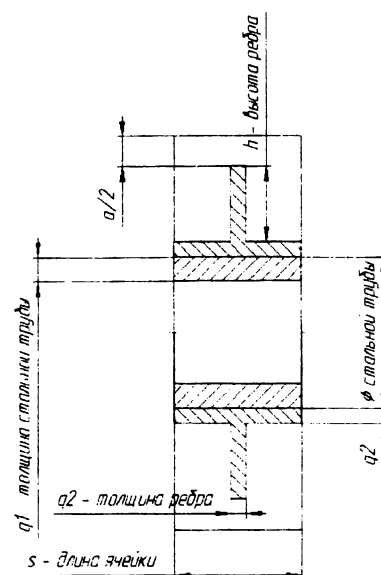


Рис. 2. Общий вид элементарной ячейки